1992. JOURNÉES RECH. PORCINE EN FRANCE, **24**,151-158.

UTILISATION DE SOUS-PRODUITS AGRO-INDUSTRIELS DANS L'ALIMENTATION PORCINE :

2. Composition chimique et digestibilité de sous-produits de l'amidonnerie de blé et de l'industrie de la pomme de terre

M. SOURDIOUX (1), F. GATEL (2), J.P. BONHOURE (3), C. KERVEADOU (1)

(1) Institut Supérieur Agricole de Beauvais-Cergy - Département des Sciences Animales, BP 313, 60026 Beauvais Cedex.
(2) Institut Technique des Céréales et des Fourrages - Pouline, 41100 Villerable.
(3) Institut Supérieur Agricole de Beauvais-Cergy - Département des Sciences et Techniques Agro-Industrielles, 32, Boulevard du Port, 95094 Cergy-Pontoise Cedex.

Une évaluation de la composition chimique, et une étude de digestibilité fécale apparente pour le porc charcutier, de différents sous-produits, sont effectuées. Les deux sous-produits de l'industrie de la pomme de terre se révèlent sensiblement différents quant à leur teneur en MAT (14,75 vs 10,79 % MS) et en amidon (46,48 vs 55,94 % MS). Une diminution de la teneur en amidon avec la durée de stockage (entre 0 et 15 jours) est observée. Les CUDa mesurés sur un des deux sous-produits sont de 93,1 % pour la MS, 93,4 % pour la MO, 77,8 % pour la MAT et 90,9 % pour l'énergie brute. Excepté celui de la MAT, ils sont tous significativement supérieurs à ceux d'un régime témoin blé-soja.

Les deux sous-produits de l'amidonnerie de blé évalués proviennent de deux sites de production différents, mais ne présentent, en moyenne, aucune différence de composition chimique entre avril et août 1990. Ils sont caractérisés par une forte et similaire teneur en amidon (44,66 et 43,81 % MS). Cependant, des évolutions différentes des sous-produits sont notées en relation avec la saison: pour l'un, une augmentation linéaire de la teneur en MS entre mai et décembre 1990 et pour l'autre, une diminution linéaire de la teneur en amidon entre avril et août. Les CUDa mesurés, respectivement 90,2; 90,4; 73,3 et 88,1 % pour la MS, MO, MAT et l'énergie brute ne sont pas différents de ceux du régime témoin, excepté celui de la MAT.

Use of wet by-products in pig finishing :

2. Chemical composition and digestibility of wheat starch industries and potato by-products.

Average chemical composition, causes of variability, and pig digestibility of various by-products are reported. Important differences are shown between the two potato by-products compared. One presents a significantly higher crude protein content (14,75 vs 10,79 % DM) and lower starch content (46,48 vs 55,94 % DM) than the other. A significant decrease in starch content is shown over a fifteen-day storage period. Apparent fecal digestibility of one of these by-products was found to be, DM 93,1, CP 77,8, OM 93,4 and energy 90,9 %. In comparison with a wheat-soyabean meal control diet, this potato by-product shows significantly higher digestibility, except for crude protein.

No differences in chemical composition are observed between the two by-products issued by the wheat starch industry .They are characterised by a high and similar content of starch (44,66 and 43,81 % DM). However, different evolutions during the season are shown, a linear increase of DM content in one by-product between May and December and a linear decrease of starch content between April and August, in the other. Apparent fecal digestibility was found to be DM 90,2 ; CP 73,3 ; OM 90,4 and energy 88,1 %. Except for crude protein, digestibility is not different from the control diet.

INTRODUCTION

L'utilisation de sous-produits agro-industriels, en alimentation porcine, peut s'avérer hasardeuse. En effet, ces matières premières se caractérisent par une forte variabilité de leur composition chimique et par un manque de connaissance de leur valeur alimentaire (ALBAR *et al.*, 1984; SMITS et SEBEK, 1988). Dans le but de mieux connaître les sous-produits largement utilisés dans le Nord de la France, une étude de digestibilité et une évaluation de la composition chimique moyenne sont actuellement menées par l'I.S.A.B. et le C.T.P. (Centre Technique du Porc, Nord-Picardie).

Dans le présent article, nous nous sommes interessés à deux sous-produits de l'industrie de la pomme de terre, appelés «purées de pommes de terre», et à un sous-produit de l'amidonnerie du blé (collecté à partir de deux sites de fabrication).

Les résultats présentés concernent :
(1) l'évaluation de la composition chimique moyenne, et sa variabilité entre avril et décembre 1990,
(2) la détermination de sources de variation de la composition chimique (le stockage, la saison, l'usine de fabrication)
(3) la détermination des valeurs de digestibilité de l'énergie et de l'azote.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Évaluation de la variabilité de la composition chimique des sous-produits

1.1.1. Purées de pommes de terre

Les échantillons prélevés (46), entre avril et décembre 1990, proviennent de 4 élevages (3 utilisant la purée issue de l'usine A et 1 utilisant la purée issue de l'usine B). Le prélèvement (environ 500 ml) est effectué par l'éleveur à la vanne de sa machine à soupe. Il est conservé congelé. La date de livraison du sous-produit, la date de prélèvement, la durée du stockage en cuve, et l'usine de provenance sont notés.

Les analyses chimiques sont réalisées au laboratoire de chimie de l'I.S.A.B. Le pH, la matière sèche (MS), la matière minérale (MM), l'amidon total (Ewers) et le phosphore font l'objet d'une double détermination. La matière azotée totale (MAT) et la matière grasse (MG) sont déterminées une seule fois.

1.1.2. Sous-produits de l'amidonnerie

77 échantillons ont été prélevés de la même façon, entre mai et novembre 1990, dans 6 élevages (3 élevages approvisionnés par l'usine 1, et 3 par l'usine 2). Les notations et analyses effectuées sont les mêmes que pour la purée de pommes de terre (exceptée la détermination de la MG, pour laquelle la méthode d'extraction à l'éther diéthylique ou à l'hexane, sans hydrolyse acide, ne s'est pas avérée adéquate).

1.1.3. Analyse des résultats

Elle est basée sur des tests de comparaison de moyennes (STUDENT) ou de comparaison des rangs. Les tests, les calculs de corrélations et les régressions sont réalisés sur le logiciel STATITCF.

1.2. Essais de digestibilité

L'essai a pour but de mesurer les digestibilités de l'énergie et de l'azote d'un sous-produit de la pomme de terre (usine A) et du sous-produit de l'amidonnerie (provenance 1). Ces deux derniers ne pouvant être consommés seuls, l'évaluation de la digestibilité se fait par différence (substitution à 50 %) selon un dispositif en carré latin.

L'aliment témoin (blé 74,6 % - tourteau de soja 21,9 % - CMV) est fabriqué en une fois à la station expérimentale I.T.C.F. de Boigneville et se présente sous forme de farine. Les sous-produits testés, de consistance semi-liquide sont livrés en bidons plastiques (25 l), en une fois pour la purée de pommes de terre, et, à raison d'une fois par semaine, pour le sous-produit de l'amidonnerie.

L'alimentation se fait en deux repas par jour, sous forme de soupe. Les quantités distribuées sont légèrement limitées, de façon à ce que l'animal consommant le moins au sein d'un groupe ingère chaque jour la totalité de sa ration. L'eau est disponible en permanence à volonté. Une analyse complète des matières premières et de l'aliment témoin est effectuée sur un échantillon moyen, reconstitué à partir de prélèvements quotidiens (tableau 1).

Tableau 1 - Composition chimique des matières premières et de l'aliment témoin.

	Purée de pommes de terre	Sous-produit de l'amidonnerie	Aliment témoin
MS (en %)	18,60	21,40	89,30
MO (% MS)	94,50	95,20	94,40
MAT (% MS)	11,80	15,50	20,70
CB (% MS)	3,25	2,25	3,30
AMIDON (% MS)	46,05	32,09	52,90
MG (% MS)	1,25	3,95	1,90
MM (% MS)	5,50	4,75	5,60
Ca (% MS)	0,14	0,20	0,97
P (% MS)	0,20	0,45	0,82
EB(kcal/kgMS)	4 114	4 300	3 856

Les essais ont lieu dans l'unité de digestibilité d'Areines (I.T.C.F.). Les animaux, en cage à métabolisme, sont des porcs mâles castrés de 35 à 65 kg, issus de mère Large-White ou Large-White x Landrace et de père Large-White x Piétrain (schéma C.A.D.S.)[(1)]. Les animaux, mis en lots sur la base du poids vif, reçoivent l'un des aliments expérimentaux pendant trois semaines de test. A la fin de cette période, chaque animal reçoit un autre aliment expérimental pendant trois semaines... (carré latin). Chaque test est composé de deux phases, une phase d'adaptation de 10 ou 11 jours permettant à l'animal de s'adapter à sa cage et à son régime, une phase de collecte des fécès de 10 jours pendant laquelle (tout comme les 3 derniers jours de la phase d'adaptation) les quantités d'aliments distribuées restent stables. Chaque jour la totalité des fécès est collectée, pesée, et stockée au congélateur (- 18°c) en emballage étanche.

A la fin de la période de collecte, toutes les fécès d'un animal sont homogénéisées. Des échantillons de 300 g environ sont prélevés et séchés à l'étuve (105°C-48h) pour détermination de la teneur en matière sèche . Les différents échantillons une fois séchés sont réhomogénéisés. 100 g sont envoyés au laboratoire de Boigneville pour détermination de la teneur en matière organique et en matières azotées (N x 6,25). 100 g sont envoyés au laboratoire Sanders de Sourches pour détermination de la teneur en énergie brute.

L'analyse statistique des différences entre coefficients d'utilisation digestive apparente fait appel aux théories de l'analyse de la variance. La comparaison multiple des moyennes est réalisée par un test de Newman et Keuls.

2. RÉSULTATS

2.1. Composition chimique des purées de pommes de terre

Le tableau 2 compare la composition chimique des deux sous-produits (17 échantillons par usine). Ces compositions sont celles observées peu de temps après une livraison (en moyenne 3,05 jours). Des différences significatives apparaissent entre les deux purées pour la teneur en amidon, la teneur en MAT et le pH. Les coefficents de variation calculés pour ces mêmes échantillons montrent, par ailleurs, une plus grande variabilité de la composition chimique de la purée issue de l'usine B.

Nous avons donc, sous une même appellation, deux sous-produits sensiblement différents. Pour chacun des sous-produits, nous avons calculé les liaisons statistiques pouvant exister entre les composantes chimiques et la durée de stockage (variable notée Age) chez l'éleveur (de 0 à 15 jours). Les annexes 1, 2, 3 et 4 donnent les valeurs des corrélations totales et partielles respectivement pour les usines A et B.

Tableau 2 - Composition moyenne et coefficients de variation (entre avril et décembre 1990) des purées de pommes de terre suivant l'usine, sur des échantillons de moins de 7 jours de stockage

Usine de provenance Nombre d'échantillons	A 17		B 17		
Composition chimique	moyenne	CV (%)	moyenne	CV (%)	proba sous H_0 (%)
Âge moyen (j)	3,76	-	2,35	-	8,61
MS (en %)	18,18	8,42	17,25	10,48	11,06
MAT (% MS)	10,79	11,00	14,75	15,24	0,00
MG (% MS)	0,31	60,24	0,49	70,42	7,09
MM (% MS)	5,05	15,79	5,10	22,98	85,97
AMIDON (% MS)	55,94	10,66	46,48	17,30	0,05
P (‰ MS)	2,09	35,34	2,61	40,48	10,21
pH	3,79	13,49	3,42	9,69	1,82

Proba sous H_0 : probabilité du test de STUDENT sous l'hypothèse d'égalité des moyennes.

Pour la purée issue de l'usine A, seule la corrélation totale entre l'amidon et la durée de stockage chez l'éleveur est significative (r = 0,455 pour α = 5 %). La durée de stockage s'est avérée parfois difficile à estimer, la cuve de l'éleveur n'étant pas toujours vide lorsqu'une nouvelle livraison était effectuée. Cinq autres corrélations totales sont proches du seuil de signification. Une seule corrélation partielle est significative (r = 0,552 pour α = 5 %), la corrélation entre la matière sèche et la matière minérale. La corrélation partielle entre l'amidon et la durée de stockage (- 0,508) est proche du seuil de signification.

Pour la purée issue de l'usine B, 5 corrélations totales sont significatives (r = 0,400 pour α = 5%), en particulier la corrélation entre les teneurs en MAT et en AMIDON (- 0,813). Deux corrélations partielles apparaissent significatives (r = 0,455 pour α = 5 %) : la corrélation MAT-AMIDON (- 0,618) et AMIDON-MS (+ 0,461).

2.2. Composition chimique des sous-produits de l'amidonnerie

Le tableau 3 compare les compositions chimiques du sous-produit de l'amidonnerie en fonction du site de fabrication entre Avril et Août 1990. Les 42 échantillons analysés ont été stockés en moyenne 4,8 jours dans les élevages. Aucune différence significative n'est observée. Les différences de variabilité de composition chimique semblent également faibles (coefficients de variation, tableau 3).

(1) Coopérative Agricole Départementale de la Sarthe

Tableau 3 - Composition moyenne et coefficients de variation des sous-produits de l'amidonnerie suivant le site de fabrication, sur des échantillons de moins de 7 jours de stockage

Site de fabrication Nombre d'échantillons	1 23		2 19		
Composition chimique	moyenne	CV (%)	moyenne	CV (%)	Proba sous H_0 (%)
Âge moyen (j)	3,91	-	5,63	-	40,86
MS (en %)	22,57	8,98	23,83	14,62	16,73
MAT (% MS)	13,23	12,39	13,38	12,58	77,10
MM (% MS)	3,96	15,90	3,96	27,20	98,78
AMIDON(% MS)	44,66	11,30	43,81	12,00	60,65
P (‰ MS)	4,12	11,30	4,03	20,02	73,31
pH	2,76	16,80	2,95	11,20	11,93

Proba sous H_0 : probabilité du test de STUDENT sous l'hypopthèse d'égalité des moyennes.

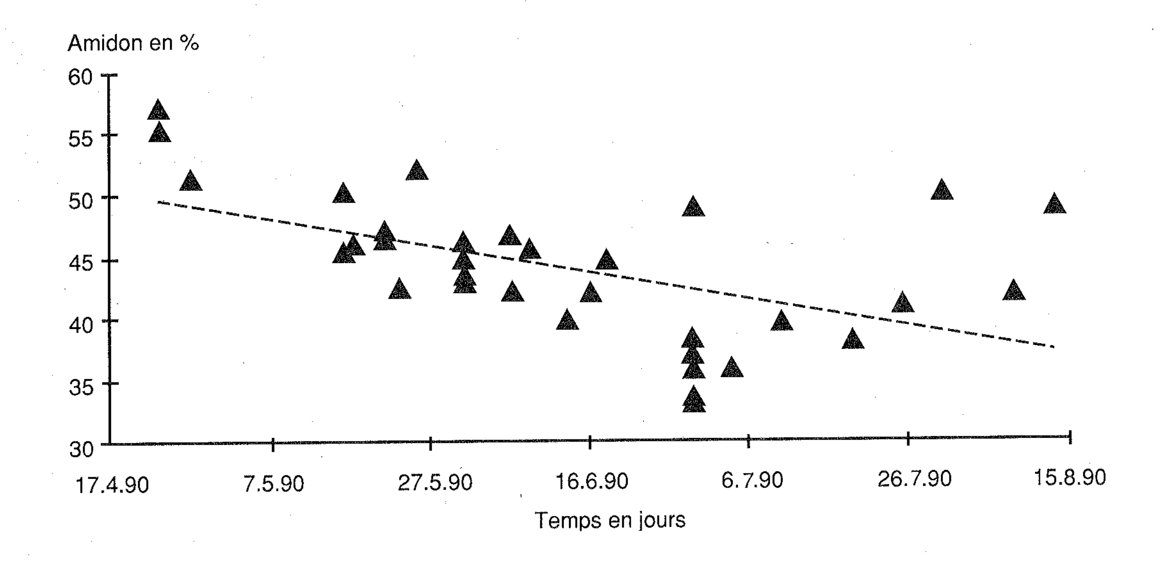
En moyenne, le sous-produit est donc homogène et indépendant du site de fabrication.

Comme pour les purées de pommes de terre, nous avons calculé, par site de fabrication, les corrélations totales et partielles entre les composantes chimiques, la saison (exprimée en jour), la durée du stockage (annexes 5 à 8).

Pour le sous-produit provenant de l'usine 1, seulement 4 corrélations totales sont significatives (r = 0,430 pour α = 5 %). La teneur en amidon est corrélée négativement (- 0,480) à la saison (corrélation partielle : - 0,567). Une diminution linéaire de la teneur en amidon est donc constatée entre avril et août 1990 (figure 1).

Pour le sous-produit provenant de l'usine 2, 10 corrélations totales sont statistiquement significatives (r = 0,330 pour α = 5 %). La corrélation totale entre la saison et la teneur en MS est de + 0,626 (corrélation partielle de + 0,777). Une augmentation linéaire de la MS avec la saison (exprimée en jour) peut donc être visualisée entre mai et décembre 1990. (figure 2). Aucune corrélation (totale ou partielle) n'apparaît entre une composante chimique (en particulier la teneur en amidon) et la durée du stockage.

Figure 1 - Évolution de la teneur en amidon entre avril et août 1990 (site 1) ; % amidon = 47,18 - 0,08 j



2.3 Essais de digestibilité

Nous avons constaté, pour toutes les digestibilités mesurées, des différences hautement significatives entre les régimes (tableau 4).

Comparativement au témoin, la digestibilité de la MS est supérieure, et celle des MAT inférieure, pour les deux sous-produits. Par contre, les CUDa de la MO et de l'EB ne sont supérieurs à ceux du témoin que dans le cas de la purée de pommes de terre.

Figure 2 - Évolution de la teneur en matière sèche entre mai et décembre 1990 (site 2) ; % MS = 21,76 + 0,04 j

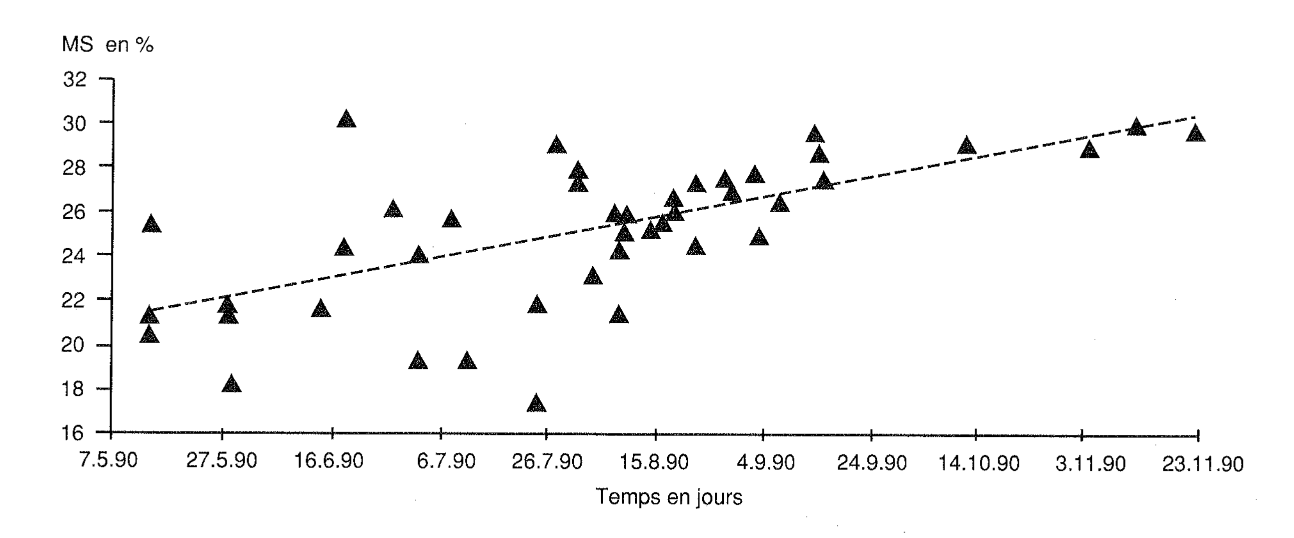


Tableau 4 - Coefficients d'utilisation digestive apparente pour les matières premières (calculés par différence) et l'aliment témoin

Digestibilité	Purée	Sous-produit de l'amidonnerie	Aliment témoin	C.V.r	Proba sous H_0
Matière sèche (%)	93,1c	90,2b	86,4a	1,9	< 0,01
Matière organique (%)	93,4b	90,4a	88,6a	1,6	< 0,01
Matières azotées totales (%)	77,8a	73,3a	88,5b	4,3	< 0,01
Énergie brute (%)	90,9b	88,1a	86,7a	1,7	< 0,01
Énergie digestible(kcal/kg MS)	3735	3785	3750	-	-

Sur une même ligne, les digestibilités affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 5$ %.

3. DISCUSSION

3.1. Sous-produits de l'industrie de la pomme de terre

Les valeurs de digestibilité apparente mesurées pour le sous-produit testé sont satisfaisantes. Seule la digestibilité de la MAT est significativement plus faible que celle du témoin (blé-soja) mais ce CUDa de 77,8 % peut être considéré comme bon. NICHOLSON *et al.* (1988) déterminent, en effet, sur un autre sous-produit de la pomme de terre («potato peels») une digestibilité de 61,3 %, sans pour autant détecter d'inhibiteurs de la trypsine ou de la chymotrypsine. Nos résultats sont proches de ceux obtenus par VAN LUNEN *et al.* en 1989 (78,2 %) pour un sous-produit équivalent («potato steam peels»). La «purée de pommes de terre» que nous avons évaluée est donc probablement suffisamment chauffée pour désactiver l'ensemble des inhibiteurs des protéases de la pomme de terre. Au moins 13 inhibiteurs de la trypsine ou de la chymotrypsine sont en effet recencés par BELITZ *et al.* (1971)(cités par LIVINGSTONE *et al.*, 1980). LIVINGSTONE *et al.* (1980) suggèrent également la présence d'autres types de facteurs antinutritionnels thermo-sensibles.

Dans le cas de la pomme de terre et de ses sous-produits, les valeurs de digestibilité et l'écart entre le niveau iléal et fécal sont fortement liés à l'ampleur de la cuisson. Ainsi, LIVINGSTONE *et al.*, en 1979, constatent entre une cuisson totale et partielle une réduction de la digestibilité des MAT de 19 % au niveau fécal, et de 48 % au niveau iléal. L'importance de cette dernière chute serait associée au maintien de facteurs antinutritionnels insuffisamment détruits par le traitement thermique. Par contre, le plus faible écart observé au niveau fécal pourrait s'expliquer par une utilisation accrue des MAT au niveau du caecum et colon par voie microbienne. (MASON *et al.*, 1976 cité par ZEBROWSKA, 1982) Dans ces conditions, l'écart entre les digestibilités de la MAT appréciées par le CUDr et le CUDa serait plus grand.

Des résultats similaires sont obtenus par KROONSBERG *et al.* (1991) sur de l'amidon de pomme de terre. En revanche, ces auteurs n'obtiennent pas, ou peu de différence pour de la pulpe de pomme de terre.

A chaque sous-produit peut donc correspondre des valeurs de digestibilité iléale et fécale fortement différentes (en particulier pour la MAT et l'amidon) dépendantes, pour une large part, du procédé industriel dont il est issu. Il serait donc hatif de généraliser le résultat observé sur le sous-produit évalué, à

l'ensemble des sous-produits de la pomme de terre utilisés en Nord-Picardie. Les différences de teneurs en amidon et en MAT observées, la modification de la composition chimique pendant le stockage, sont autant de facteurs pouvant modifier la valeur nutritionnelle.

La diminution linéaire de la teneur en amidon en fonction de la durée de stockage est voisine de 1 % par jour (b y/x = - 0,93 pour l'usine A, b y/x = - 0,86 pour l'usine B, soit une diminution moyenne calculée de - 0,89 % amidon/jour). Ce résultat peu précis ($r^2 = 0,3$) limite son exploitation en tant que prédiction de la teneur en amidon. Il est cependant conforme aux résultats observés par EDWARDS *et al.* (1986) à partir d'échantillons conservés en laboratoire (b y/x = - 1,13 % amidon/jour). EDWARDS *et al.* montrent également que cette diminution d'origine bactérienne est associée à une production d'acide lactique et acétique.

Ces modifications biochimiques pendant le stockage restent à confirmer pour les deux sous-produits observés dans cette étude, à partir d'un protocole éliminant les imprécisions de collecte. L'influence de ces modifications sur la digestibilité (en particulier de la matière organique et de l'azote) reste à étudier. Enfin, ce travail sur la valeur des sous-produits de la pomme de terre est à poursuivre, en particulier, dans la connaissance des teneurs en acides aminés.

3.2. Sous-produits de l'amidonnerie du blé

Les résultats de digestibilité fécale obtenus pour le sous-produit de l'amidonnerie testé (provenance 1) sont voisins de ceux du témoin (blé-soja), excepté pour le CUDa de la MAT. Ces résultats sont également proches des valeurs INRA (1989) pour le blé ou divers sous-produits du blé. Les valeurs en énergie digestible varient, en effet, de 2300 (pour le son) à 3700 kcal/kg de produit brut (pour le germe) et les valeurs du CUDa de la MAT varient de 90 % (farine) à 65-67 % (pour le son). La valeur obtenue pour le CUDa de la MAT du sous-produit testé (73,3 %) apparaît comme intermédiaire, laissant supposer qu'une partie seulement des protéines les plus digestibles sont extraites par le procédé industriel. Là encore, une analyse des acides aminés présents dans cette protéine sera une suite indispensable pour la meilleure connaissance de ce sous-produit.

Contrairement aux sous-produits de la pomme de terre, l'analyse des composantes chimiques ne révèle pas de différences entre les deux sites de production, entre avril et août 1990. Cependant, certaines évolutions sont à souligner, et confirment les difficultés d'utilisation rationnelle du sous-produit. La baisse de la teneur en amidon observée (provenance 1) est un exemple précis de l'incidence d'une modification du procédé industriel sur la composition d'un sous-produit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient pour leur aide précieuse Melle P. LESTRADET, Mme J. MARCHAND, Mr F. WILLEQUET (I.S.A.B.) et l'ensemble du personnel des stations d'AREINES et de BOIGNEVILLE (I.T.C.F.).

Ces travaux sont réalisés grâce à la participation financière du Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, et du Conseil Régional de Picardie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBAR, J.; CHAUVEL, J.; SAULNIER, J.; POULENC, J.; 1984. Techniporc, 7, 1, 65-114.
- EDWARDS, S.A.; FAIRBAIRN, C.B.; CAPPER, A.L.; 1986. Anim. Feed Sci. and Techno., **15**, 129-139
- I.N.R.A.; 1989. L'alimentation des animaux monogastiques : porc, lapin, volailles. INRA éd. PARIS, 282 p.
- KROONSBERG, C.; KEMME, P.A.; SNIJDERS, C.;1991. Rapport IVVO N° 226, 11 p.
- LIVINGSTONE, R.M.; BAIRD, S.A.; ATKINSON,T.; CROFTS, R.M.J.; 1979. Anim. Feed Sci. and Techno., 4, 295-306.
- LIVINGSTONE, R.M.; BAIRD, S.A.; ATKINSON, T.; CROFTS,R.M.S.; 1980. J. Sci. Food Agric., **31**, 695-700.
- NICHOLSON, J.W.G.; SNODDON, P.M.; DEAN, P.R.; 1988. Can. J. Anim. Sci, **68**, 233-239.
- SMITS, B.; SEBEK, L.B.J.; 1988. Annual Report, 1987, 32 p.
- STATITCF; 1988. Manuel d'utilisation. I.T.C.F. Boigneville, France.
- VAN LUNEN, T.A.; ANDERSON, D.M.; ST. LAURENT, A.M.; NICHOLSON, J.W.G.; DEAN, D.R.; 1989. Can. J. Anim. Sci., **69**, 225-234.
- ZEBROWSKA, T.; 1982. Les colloques de l'I.N.R.A. N° 12. 27-29 oct. 1982, 225-236.

Annexe 1 - Matrice de corrélations totales (à partir de 19 prélèvements de l'usine A)

	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON	ÂGE
MS	1,000							
MAT	-0,378	1,000						
pH	0,402	-0,275	1,000					
MG	-0,172	0,153	-0,477	1,000				
MM	-0,446	-0,057	0,125	-0,418	1,000			
P	0,044	0,442	0,019	0,146	-0,336	1,000		
AMIDON	0,006	-0,104	0,453	-0,132	0,123	-0,192	1,000	
ÂGE	0,012	-0,187	-0,221	0,123	-0,084	0,035	-0,539	1,000

Annexe 2 - Matrice de corrélations partielles (usine A)

	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON	ÂGE
MS	***							
MAT	-0,343	***						
pH	0,366	-0,158	***					
MG	-0,239	-0,084	-0,334	***				
MM	-0,603	-0,100	0,196	-0,436	***			
P	-0,036	0,454	0,301	0,066	-0,268	***		
AMIDON	-0,218	-0,086	0,466	0,127	-0,096	-0,210	***	
ÂGE	-0,116	-0,301	0,031	0,058	0,050	0,044	-0.508	***

Annexe 3 - Matrice de corrélations totales (à partir de 25 prélèvements de l'usine B)

	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON	ÂGE
MS	1,000							
MAT	-0,462	1,000						
pH	0,220	-0,060	1,000					
MG	-0,159	0,276	-0,011	1,000				
MM	-0,284	0,655	-0,158	0,083	1,000			
P	-0,366	0,371	-0,351	0,334	0,210	1, 000		
AMIDON	0,581	-0,813	0,162	-0,328	-0,598	-0,277	1, 000	
ÂGE	0,029	0,275	-0,149	0,080	0,316	0,008	-0,325	1,000

Annexe 4 - Matrice de corrélations partielles (usine B)

	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON	ÂGE
MS	***							
MAT	0,038	***						
pH	0,094	0,269	***					
MG	0,128	-0,038	0,130	***				
MM	0,081	0,367	-0,122	-0,153	***			
P	-0,231	-0,327	0,145	-0,274	-0,143	***		
AMIDON	0,461	-0,618	0,145	-0,274	-0,143	0,247	***	
ÂGE	0,267	0,009	-0,156	0,007	0,119	-0,072	-0,219	***

Annexe 5 - Matrice de corrélations totales (23 échantillons collectés entre avril et août 1990)(site 1).

	SAISON	ÂGE	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON
SAISON	1,000								
ÂGE	-0,249	1,000							
MS	0,053	0,140	1,000						
MAT	-0,018	0,058	0,125	1,000					
pH	-0,435	0,256	0,191	0,292	1,000				
MG	-0,279	-0,079	0,391	-0,173	0,255	1,000			
MM	0,113	0,279	-0,284	0,080	-0,025	-0,255	1,000		
P	0,043	0,028	-0,347	0,586	0,210	-0,181	0,461	1,000	
AMIDON	-0,480	0,273	0,098	-0,216	0,180	-0,155	-0,085	-0,373	1,000

Annexe 6 - Matrice de corrélations partielles (site 1)

	SAISON	ÂGE	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON
SAISON	***								
ÂGE	-0,222	***							
MS	0,448	0,249	***						
MAT	-0,245	-0,057	0,513	***					
pH	-0,208	0,157	0,120	0,130	***				
MG	-0,523	-0,193	0,536	-0,434	0,198	***			
MM	0,127	0,342	-0,050	-0,211	-0,083	-0,055	***		
P	0,028	-0,030	-0,420	0,593	0,234	0,075	0,446	***	
AMIDON	-0,567	0,027	0,255	-0,224	0,162	-0,520	0,074	-0,235	***

Annexe 7 - Matrice de corrélations totales (35 échantillons collectés entre mai et novembre 1990) (site 2)

	SAISON	ÂGE	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON
SAISON	1.000								
ÂGE	0,027	1,000							
MS	0,626	-0,012	1,000						
MAT	0,091	0,172	-0,054	1,000					
pH	0,222	-0,113	0,311	0,176	1,000				
MG	0,166	0,084	0,437	0,336	0,230	1,000			
MM	-0,105	-0,070	-0,679	0,232	-0,116	-0,218	1,000		
P	0,047	0,117	-0,221	0,267	0,369	0,130	0,454	1,000	
AMIDON	-0,073	0,044	0,159	-0,548	-0,335	-0,177	-0,510	-0,545	1,000

Annexe 8 - Matrice de corrélations partielles (site 2)

	SAISON	ÂGE	MS	MAT	pH	MG	MM	P	AMIDON
SAISON	***								
ÂGE	0,008	***							
MS	0,777	-0,029	***						
MAT	0,180	0,226	-0,204	***					
pH	-0,038	-0,202	0,168	0,050	***				
MG	-0,304	0,001	0,451	0,342	-0.071	***			
MM	+0.517	-0.145	-0.698	-0.081	-0.173	0.099	***		
P	0,121	0,255	-0,164	-0,148	0,399	0,199	0,172	***	
AMIDON	0,152	0,114	-0,206	-0,459	-0,217	0,016	-0,419	-0,257	***